

# **Závislost bitové chybovosti na kvalitě signálu DVB-T a DVB-S**

## **Dependence of Bit Error Ratio on Signal Strength in DVB-T and DVB-S**

## Zadání bakalářské práce

Student: **Andrzej Waloszek**

Studijní program: B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor: 2612R059 Mobilní technologie

Téma: **Závislost bitové chybovosti na kvalitě signálu DVB-T a DVB-S.**  
**Dependence of Bit Error Ratio on Signal Strength in DVB-T and DVB-S**

Zásady pro vypracování:

1. Stručný popis funkce technologií DVB-T a DVB-S.
2. Určete závislosti bitové chybovosti na kvalitě signálu DVB-T a DVB-S.
3. Proveďte měření BER a jeho vyhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:


LEGÍŇ, Martin. *Televizní technika DVB-T*. 1. vyd. Praha : BEN, 2006. 288 s. ISBN 80-7300-204-3.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

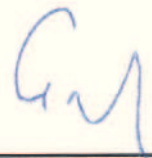
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Tomis**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013

  
prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.  
vedoucí katedry

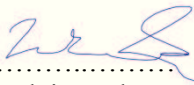


  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Dne: 7.5.2013



.....  
podpis studenta

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu své bakalářské práce panu Ing. Martinu Tomisovi za čas, věcné připomínky a odborné rady k obsahu a formě zpracování.

## **Abstrakt**

Cílem této práce je detailnější seznámení s technikou DVB. Podrobněji popisuje funkce technologie DVB, rozbor měřených parametrů pro tuto technologii a obzvláště vliv bitové chybovosti na kvalitu přijímaného obrazu. V první části bakalářské práce je popsána problematika DVB, její výhody, nevýhody, jak funguje a dnešní standardy v oblasti digitálního vysílání. Druhá část popisuje měřené parametry a jejich vliv na vysílání. Závěrečná část je zaměřena na provedená měření a vyhodnocení naměřených parametrů, zejména parametru BER, a jejich vliv na realizaci příjmu digitálního vysílání.

**Klíčová slova:** DVB, DVB-T, DVB-S, modulace, BER, multiplex, signál, vysílač, SFN, OFDM

## **Abstract**

The goal of this work is the detailed introduction of DVB technology. Analysis of the measured parameters for this technology, and especially the influence of the bit error rate on the received signal. The first part describes the issue of DVB, advantages, disadvantages, how it works and today's standards in digital broadcasting. The second part describes measured parameters and their influence on the broadcast. The final section focuses on the measurements and evaluation of the measured parameters, especially the parameter BER, and their impact on the implementation of the digital broadcast.

**Keywords:** DVB, DVB-T, DVB-S, modulation, BER, multiplex, signal, transmitter, SFN, OFDM

## Seznam použitých zkratk a symbolů

ADSL	– Asymmetric Digital Subscriber Line
AFC	– Automatic Frequency Control
BER	– Bit Error Rate
BCH	– Bose Chaudhuri Hocquenghem
COFDM	– Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing
CPE	– Common Phase Error
C/N	– Carrier-to-noise
ČR	– Česká republika
dBW	– Decibel watt
DTH	– Direct To Home
DVB	– Digital Video Broadcasting
DVB-C	– Digital Video Broadcasting - Cable
DVB-H	– Digital Video Broadcasting - Handheld
DVB-S	– Digital Video Broadcasting - Satellite
DVB-T	– Digital Video Broadcasting - Terrestrial
EDTV	– Enhanced-definition television
END	– Equivalent Noise Degradation
ENF	– Equivalent Noise Floor
EPG	– Electronic Program Guide
FEC	– Forward Error Correction
GI	– Guard Interval
GPS	– Global Positioning System
GSE	– Generic Stream Encapsulation
HDTV	– High-definition television
HP	– High Priority stream
ICI	– Inter-Carrier Interference
ITU	– International Telecommunication Union
ITU-R	– ITU Radiocommunication Sector

kW	– kilowatt
LDPC	– Low density parity check
LDTV	– Low-definition television
LNB	– Low-noise block downconverter
LP	– Low Priority stream
MER	– Modulation Error Ratio
MFN	– Multiple Frequency Network
MHP	– Multimedia Home Platform
MHz	– Megahertz
m-QAM	– Multi - Quadrature amplitude modulation
NF	– Nízkofrekvenční
NTSC	– National Television System(s) Committee
OFDM	– Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PAL	– phase alternating line
PES	– Packetized Elementary Stream
PRBS	– Pseudorandom binary sequence
PS	– Program Stream
QAM	– Quadrature amplitude modulation
QPSK	– Quadrature Phase Shift Keying
RS	– Reed-solomon
SDTV	– Standard Definition Television
SECAM	– Sequential Color with Memory
SFN	– Single Frequency Network
STE	– System Target Error
TPS	– Transmission parameter signaling
TEI	– transport error indicator
TS	– Transport stream
TV	– Televize, televizní
UHF	– Ultra high frequency
VDSL	– Very High Speed Digital Subscriber Line
VF	– Vysokofrekvenční
VHF	– Very high frequency

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Popis funkce technologií DVB-T a DVB-S</b>	<b>2</b>
2.1	Dnešní požadavky na televizní vysílání . . . . .	2
2.2	Výhody a nevýhody digitálního a analogového vysílání . . . . .	3
2.3	Princip televizního vysílání . . . . .	5
2.4	Jak funguje DVB-S . . . . .	6
2.5	Jak funguje DVB-T . . . . .	7
2.6	Modulace DVB-T . . . . .	8
2.7	Multiplexy a multiplexování . . . . .	11
<b>3</b>	<b>Závislost bitové chybovosti na kvalitě signálu BER</b>	<b>13</b>
3.1	Měřené parametry . . . . .	13
3.2	Měření chybovosti BER . . . . .	14
3.3	Popis vybraných parametrů . . . . .	15
<b>4</b>	<b>Měření DVB-T a DVB-S</b>	<b>18</b>
4.1	Postup měření - DVB-T . . . . .	18
4.2	Měření 1 - Multiplex 1 (DVB-T) . . . . .	20
4.3	Měření 2 - Multiplex 2 (DVB-T) . . . . .	23
4.4	Postup měření - DVB-S . . . . .	25
4.5	Měření 3 - DVB-S (Astra 19.2°E, Astra 23,5°E) . . . . .	27
<b>5</b>	<b>Závěr</b>	<b>31</b>
<b>6</b>	<b>Reference</b>	<b>33</b>
	<b>Přílohy</b>	<b>40</b>



## 1 Úvod

Digitální televizní vysílání (DVB - Digital Video Broadcasting) je nejrozšířenější způsob přenosu televizního vysílání v dnešní době. Úspěšně nahrazuje již zastaralé analogové vysílání, které notuje svoje počátky v České republice již od roku 1953, kdy na Petříňské rozhledně v Praze, byl vybudován první televizní vysílač. V posledních letech nároky na televizní vysílání velmi vzrostly a jelikož možnosti analogového vysílání jsou omezené, bylo jen otázkou času kdy tuto technologii vystřídá jiná, pokročilejší. V roce 1993 bylo založeno konsorcium DVB, vytvořeno mezinárodními sdruženími televizních společností, výrobců televizní techniky, síťových operátorů, regulačních organizací a podobných zástupců z celého světa. Díky tomu se postupem času digitální vysílání stalo normou po celém světě. Hlavní důvody byly jak ekonomické, tak i zmíněné zvyšování nároků na televizní vysílání. DVB v tomto ohledu vychází vstříc oběma faktorům. Základním rozdílem je zvýšený počet vysílaných programů a zkvalitnění obrazu.

Digitální vysílání bylo pro uživatele dostupné nejprve přes satelitní příjem (DVB-S - Digital Video Broadcasting – Satellite). Podle výzkumu společnosti SES (jedna z největších satelitních společností na světě) je digitální satelitní vysílání dnes nejpoužívanějším způsobem příjmu televizního vysílání v Evropě. Jako hlavní důvody tohoto rozšíření výzkum uvádí digitalizaci televizního signálu a příchod nových technologií poskytujících zvýšení kvality obrazu. K normě DVB-S později přibýly normy DVB-C, DVB-T a DVB-H. DVB-C (Digital Video Broadcasting – Cable) je evropská norma pro digitální televizní vysílání v kabelových sítích, DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial) je norma realizována přes pozemní vysílače a DVB-H (Digital Video Broadcasting for Handheld) je nadstavbou DVB-T a jedná se o digitální TV vysílání pro mobilní zařízení. Jak dokazuje DVB-H, vývoj v oblasti digitálního TV vysílání pokročil za poslední léta značně vpřed.

Jelikož je DVB v dnešní době velmi používanou technologií a v příštích letech nadále bude, tato bakalářská práce přibližuje problematiku DVB a princip na jakém funguje. Druhá část je zaměřena na závislost bitové chybovosti na kvalitě signálu DVB-T, DVB-S a další důležité měřené parametry. V závěrečné části je provedeno měření těchto parametrů v praxi a jejich vyhodnocení.

## 2 Popis funkce technologií DVB-T a DVB-S

### 2.1 Dnešní požadavky na televizní vysílání

Před vysvětlením principu na jakém DVB funguje, je důležité přiblížit problematiku analogového vysílání a důvody nástupu technologie DVB.

S přibývajícím časem každá technologie začíná být pomalu zastaralá a toto platí pro analogové vysílání, v posledních letech, obzvlášť. Nynější hlavní požadavky pro televizní vysílání jsou:

- Vysoká kvalita obrazu a zvuku
- Snížení nákladů na provoz a realizaci pokrytí
- Lepší využití vysílacích kmitočtů
- Příjem mnohem vyššího počtu programů a jiných než televizních služeb
- Mobilní příjem

Všechny tyto body může digitální vysílání zrealizovat a ještě přidat mnohé navíc a tím se stává velmi atraktivní pro nové uživatele i vysílací společnosti. Přesto hlavním důvodem na přechod z analogového vysílání na digitální je mnohem lepší využití kmitočtového spektra. Digitální systémy můžou v jednotlivých pásmech umístit větší počet vysílaných programů a to tak, že v jednom kanálu může být, za pomoci multiplexu, větší počet programů a jiných služeb. Jen pro představu, jeden analogový program zabírá 8 MHz a na místo jednoho analogového programu lze vysílat 4 až 6 programů v digitální formě. Přesné rozdělení TV kanálů, které se používají pro analogové vysílání (první až třetí TV pásmo) a vysílání DVB-T (čtvrté až páté pásmo - UHF) je zobrazeno v tabulkách *tab. 6.1* a *tab 6.2* v příloze.

Norma CCIR D/K s rozestupem kanálů 8 MHz se používá v České i Slovenské republice pro analogové TV vysílání. Na Slovensku se přešlo na odstup 5,5 MHz, i když se vysílá na kmitočtech kanálů podle CCIR D/K. Kanály R4 a R5 (kmitočty lze nalézt v *příloze 2, tab. 6.2*) se pro pozemní vysílání přestaly používat a neměly by se používat ani v kabelových rozvodech, protože zasahují do pásma VKV-CCIR 87.5–108 MHz, jinak známého jako "západní pásmo", využívaného v ČR pro dálkový příjem rádiového vysílání.

Pro analogové vysílání je dána jedna norma pro celou Evropu, ale přesto se v některých případech liší odstupy kmitočtů zvuku od obrazu. Ve většině případů se v Evropě používá norma CCIR G s odstupem zvuku 5,5 MHz od obrazu. V ČR zase norma

CCIR K s odstupem zvuku 6,5 MHz. Slovensko dodržovalo normu CCIR K, ale nyní tam již platí norma CCIR G. Využívá se 4. až 5. pásmo, které dohromady obsahují 49 kanálů v UHF pásmu. 4. pásmo obsahuje kanály 21 až 34 a 5. pásmo kanály 35. až 69. Signál DVB-T zabírá téměř celý kanál o velikosti 8 MHz, proto se už neuvádějí nosné kmitočty zvuku a obrazu, ale u set-top boxů v menu ladění se udává jako frekvence v MHz jen tzv. střední kmitočet TV kanálu, tento uvádíme ve sloupci za číslem kanálu. Celý rozsah kanálu je od -4 až do +4 MHz od středního kmitočtu. Například pro kanál 25, který má 506 MHz je rozsah 502 až 510 MHz.[2]

Digitální vysílání by tedy mělo splňovat všechna kritéria pro pár následujících let a možná i déle, protože možnosti tohoto vysílání stále nejsou plně využity. Jelikož DVB je součástí veřejného sektoru a rozvoj této technologie jde rychle dopředu, stalo se nejrozšířenějším vysíláním u nás i po celé Evropě. Právě díky tomu, že DVB náleží do veřejného sektoru, koncovým uživatelům stačí zakoupit televizi s digitální přijímačem nebo samostatný přijímač a případně anténu (ve většině případů jde použít anténu, která sloužila k příjmu analogového vysílání. Často stačí jen starou anténu upravit pro digitální příjem). Toto platí jen pro DVB-T. U satelitní verze DVB-S je samozřejmě nutnost vlastnit satelitní přijímač. Tady již také existují soukromé společnosti poskytující balíčky obsahující velké množství programů a služeb, často ve velmi vysoké kvalitě.

## 2.2 Výhody a nevýhody digitálního a analogového vysílání

Ústup analogového vysílání má za příčinu nesplnění požadavků uvedených v předchozí kapitole.

Prvním z hlavních problémů analogového vysílání je velmi omezený počet TV programů, které mohou být vysílány v jednom čase v jednom kanále. To je zapříčiněno danou velikostí, která je nutná pro vysílání analogového programu. U digitálního vysílání se vleze do stejného TV kanálu až 6 programů, doprovodné služby (EPG, MHP, ...) a sada rádiových přenosů.

Další nevýhodou jsou ekonomické náklady a spotřeba energie, která je pro realizaci pokrytí velmi vysoká s porovnáním realizace DVB. Je to způsobeno tím, že na vysílaný signál mají velký vliv překážky v terénu (budovy, hory atd.), takže vysílače musí vysílat s mnohem větším výkonem, aby správně pokryly danou plochu. To má také za následek velmi špatné využití kmitočtového spektra a snížení úrovně signálu (znatelné zhoršení obrazu).

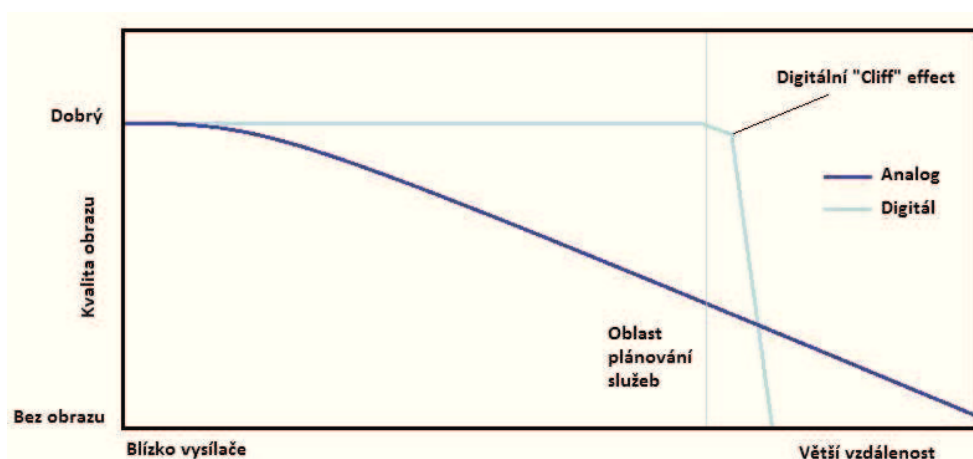
Televizním divákům již nestačí nadále nízké rozlišení, které je typické pro analogové vysílání. S novými technologiemi při tvorbě filmů, seriálů apod. se požadavek

na lepší kvalitu stal velmi důležitým. DVB poskytuje mnohem širší možnosti co se týče kvality obrazu a samozřejmě i zvuku. Velké množství vysílaných programů se vysílá v kvalitě HDTV.

Digitální vysílání poskytuje s normou DVB-H možnost mobilního příjmu. Jde o upravené vysílání DVB-T, takže funguje na podobném principu - vysílač vysílá signál a k jeho příjmu se používá mobilní zařízení jako například mobilní telefon nebo tablet. Tady můžou vysílací společnosti spolupracovat s mobilními operátory a to v případě, že součástí vysílacích balíčků jsou například placené programy, které si musí uživatel zakoupit a to jde zrealizovat jedině prostřednictvím mobilního operátora.

Za nevýhodu digitálního vysílání proti analogovému by se daly považovat vstupní náklady. Ať už na straně uživatele, který si musí pořídit televizi se zabudovaným přijímačem nebo jen zvlášť daný set-top box. I na straně vysílací společnosti je nutno investovat do nové technologie pro vysílače a také programové společnosti musí vybavit svoje nahrávací studia zařízením pro předání digitálního obrazu a zvuku na výstup pro další zpracování.

Další nevýhodou DVB je případný výpadek obrazu při slabém příjmu signálu. Na druhou stranu, pouze slabé zhoršení příjmu, pro DVB nemá ve výsledku na obraz žádný viditelný vliv. Obraz i zvuk zůstává stále ve stavu jako při ideálním příjmu, i když příjem ideální není a to trvá tak dlouho, dokud nedojde na hranici, kdy je daný přijímač příliš daleko a úroveň signálu klesne na určitou hranici, kde obraz začne zamrzávat nebo vypadne úplně. U analogového vysílání obraz bude zobrazován i při větší vzdálenosti od vysílače, ale kvalita obrazu ztlačně klesá mnohem rychleji.



Obrázek 2.1: Porovnání analogové a digitální televize z hlediska plánování služeb[1]

## 2.3 Princip televizního vysílání

Pro lepší rozbor naměřených parametrů v závěrečné části je důležité pochopit na jakém principu celý systém televizního vysílání funguje. Jedná se o proces, který může začínat někde v terénu, kde televizní štáb vysílací společnosti pomocí kamery nahrává reportáž, jenž se uživateli o chvíli později zobrazuje v televizi stovky kilometrů daleko. Mezi těmito dvěma situacemi probíhá složitý proces, který toto umožňuje. Celý průběh se dá rozdělit na tři části.

### Snímací část

Vše začíná například v televizním studiu, kde kamery snímají obraz i zvuk a přenáší je do systémů studia ke zpracování pro řídicí stanici. Není nutností provádět nahrávání pouze v dobře vybudovaném studiu. Většina vysílacích společností vlastní přenosové vozy, které by se dalo pojmenovat jako mobilní studia. Ve studiu se také ovlivňuje časový průběh nosného VF signálu. Tento časový průběh se ovlivňuje modulačním obrazovým signálem za pomoci např. televizní kamery a je pak dále zpracováván ve studiu. Dále putuje TV signál směrem k řídicí stanici. Řídicí stanice můžou přijímat více TV signálů z různých televizních studií najednou. Zde se signál dále zpracovává a přenáší na vysílač. Tímto končí část snímací.

### Vysílací část

TV vysílače vysílají pomocí antén elektromagnetické vlnění, které se šíří prostorem až k přijímacím anténám. Na území České republiky můžeme najít desítky DVB-T vysílačů. Každý z nich vysílá programy zabalené v jednom určitém multiplexu. Multiplexy máme v ČR celkem čtyři. První je veřejnoprávní a má nejlepší pokrytí ze všech (jsou v něm umístěny všechny programy a služby České Televize). Další multiplexy obsahují TV programy a služby soukromých společností a přesto, že nemají území ČR tak silně pokryté jako multiplex jedna, je pokrytí velmi dobré.

### Přijímací část

Přijímací antény zachycují elektromagnetické vlnění a převádí je na elektrický signál, který se dále zpracovává v televizoru uživatele. Přijímací antény mohou být buď individuální nebo STA antény pro skupinový příjem. STA antény jsou schopny rozdělo-

vat přijatý signál do daných set-top boxů. Pro tento příjem existují různé druhy řešení. Z finančního hlediska je nejlepší řešení zvolit přímý rozvod DVB kanálu v UHF. Postačí zde často STA antény určené pro příjem analogového vysílání. Signál z antény je posílán do širokopásmového zesilovače a odtud jde do rozbočovače, který přiděluje zpracovaný signál jednotlivým set-top boxům. Možností realizace příjmu DVB-T přes STA antény je více, ale tento je nejpraktičtější a velmi často používaný. Další možnosti jsou řešit příjem kmitočtovou konverzí z UHF do VHF, převodem DVB-T do DVB-C a převodem na PAL v pásmu VHF. [11]

## 2.4 Jak funguje DVB-S

DVB-S princip je založen na zachytávání signálu vysílaného satelity, které krouží na oběžné dráze. Jedná se o první verzi digitálního vysílání označenou jako DTH. Pro příjem TV programů z více satelitů postačí pouze jeden přijímač. Jednotlivé satelity jsou rozděleny do 2 základních modelů. První jsou Spinner satellites, které jsou jednodušší, lehčí, levnější a rychleji se stavějí. Druhým modelem jsou tzv. 3-axis satellites, které můžou vysílat více kanálů, můžou čerpat solární energii, déle vydrží a mají lepší schopnost pokrytí většího území. Samozřejmě jejich výroba je složitější a mnohem nákladnější. Životnost satelitů se určuje na přibližně 15 let a zbytek paliva po této době slouží k přesunutí satelitu na "hřbitov", který je vzdálen přibližně 300 km od orbity.

Satelitní vysílání je používáno dnes po celém světě a je to první varianta digitálního vysílání obecně. Pro datový tok se používá modulace QPSK. DVB-S je založen na přenosu signálu na obrovskou vzdálenost, což způsobuje znatelný útlum. Ale na druhou stranu poskytuje velkou šířku pásma. Signál k družicím přichází v jiném referenčním pásmu, než je potom vysílán zpět směrem k přijímačům. Výkon vysílačů se pohybuje kolem 200 W. Postupem času byla navržena druhá generace satelitního vysílání DVB-S2. Ta umožňuje použití komprese MPEG4/AVC a vysílání v kvalitě HDTV. Na rozdíl od DVB-S používá pokročilejší modulace a má větší kapacitu. Signály vysílané ze satelitů se balí do multiplexů podobně jako je to u DVB-T. Porovnání standardů DVB-S a DVB-S2 lze nalézt v *tab. 2.1.* [4]

	DVB-S	DVB-S2
Modulace	QPSK/QPSK, 8PSK, 16QAM	QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK
Komprese	MPEG-2	H.264, MPEG-4
Přenosová kapacita	100%	130%
Kódování	RS, Viterbiho kódování	LDPC a BCH kódování
Input Interface	Single TS	Multiple TS, GSE
HD vysílání	NE	ANO

Tabulka 2.1: Porovnání základních parametrů DVB-S a DVB-S2[10]

## 2.5 Jak funguje DVB-T

Základ celého principu je velmi podobný obecné teorii televizního vysílání, ale již zpracování zachyceného obrazu a zvuku ve studiu, přenosovém voze či řídicí stanici, je mnohem složitější. Obraz i zvuk se nahrává porovnatelně jako v principu analogového vysílání, ale poté je hned zpracováván do digitální podoby a stává se z něho nekomprimovaný formát ITU R-601. Dále se musí číslicový obraz složitě komprimovat za pomoci zdrojového kódování, aby jej bylo možno přenášet v analogovém kanále s kvalitou srovnatelnou s analogovými standardy PAL, NTSC, SECAM (standards kódování barevného obrazu televizního signálu pro TV vysílání). Při tomto procesu se bere ohled na úsporu frekvenčního spektra, to znamená, že do jednoho analogového kanálu vložíme větší množství TV programů. Dále je třeba komprimovaný číslicový signál zabezpečit proti vzniklým chybám a to se realizuje kanálovým kódováním.

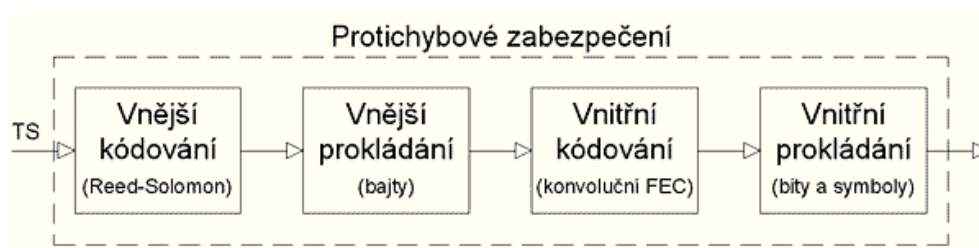
Multiplex TV programů není přenášen na jedné nosné vlně, ale díky širokopásmové modulaci OFDM v stovkách či tisících subnosných. K tomu se ještě používá modulace m-QAM a QPSK. Systém DVB má díky tomu možnost šířit více TV programů najednou na jedné frekvenci více vysílači (sítě SFN). Princip modulace OFDM umožňuje vysílat vysílačům na stejné frekvenci a vzájemně se doplňovat. Důležitým parametrem, který také řeší tuto problematiku je ochranný interval. Více podrobností lze nalézt v kapitole 2.6.2. *SFN síť a princip vysílání na společné frekvenci.*

Podle počtů vzorků na jeden řádek v TV a podle počtů řádků v jednom snímku, rozeznáváme, jestli se jedná o mnohořádkovou televizi označovanou jako TV s velkou rozlišovací schopností (HDTV), standardní TV (SDTV) a nebo TV s malým rozlišením (LDTV). Mezi SDTV a HDTV existuje ještě EDTV.

## 2.6 Modulace DVB-T

Signál DVB, který je šířen z pozemních vysílačů je často vystaven mnohým rušivým elementům jako například překážky, počasí apod. Tuto problematiku řeší modulace a protichybové zabezpečení.

Toto zabezpečení funguje na čtyřech úrovních viz *obr. 2.2*. Nejdříve se provádí vnější kódování a to za pomoci Reed-Solomonova kódu. Jedná se o blokové kódy k detekci a opravě chyb. Používají se také například u ADSL, VDSL a dalších technologiích. Vnější a vnitřní prokládání má za úkol chránit přenos před chybami. Vnitřní kódování zajišťuje metoda FEC, která hledá a následně opravuje vzniklé chyby.[3]



Obrázek 2.2: Protichybové zabezpečení

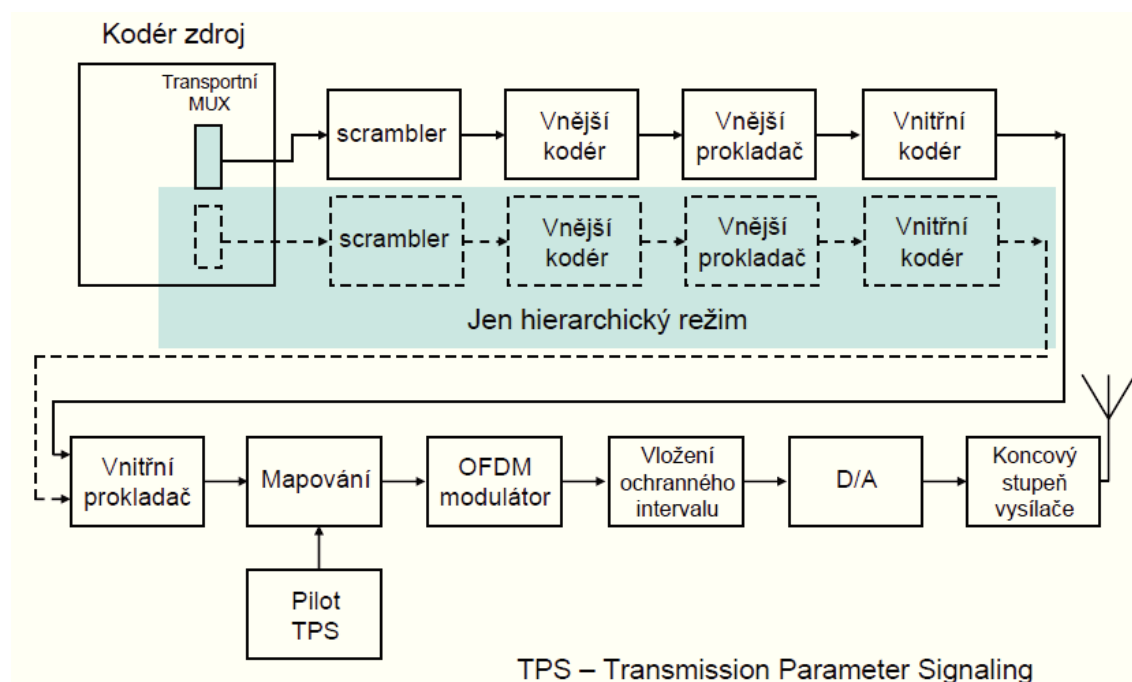
### 2.6.1 Modulace OFDM

Když je přenos dostatečně zabezpečen následuje modulace OFDM. Ta rozdělí TV kanál na mnoho subnosných vln. Tato modulace funguje v režimu 2k nebo 8k. Režim 2k se používá pro normu danou ve Velké Británii a 8k pro zbytek zemí evropské unie. Režim 8k používá 6817 subnosných vln, z toho je 6048 vyčleněno pro data a zbylých 769 pro vzorkování. Každá subnosná vlna je dále modulována modulacemi QPSK, 16-QAM nebo 64-QAM. V případě použití modulace QPSK se přenáší dva bity na jednu vlnu. 16-QAM dokážete přenést 4 bity a 64-QAM až 6 bitů. Každá konstelace vyžaduje minimální hodnotu odstupů poměru mezi úrovní nosné vlny a šumu, při které je možná demodulace, takže modulace QPSK má mnohem lepší odolnost proti šumu než 64-QAM, ale na druhou stranu se díky tomu snižuje rychlost přenosu.

Při modulaci dochází k vnitřnímu prokládání. Jedná se o proces, kdy se data projdou nejdříve bitovým prokládáním a poté symblovým prokládáním. Při bitovém prokládání jsou data, která se skládají ze dvou toků, domultiplexována do podtoků. Počet podtoků závisí na použité modulaci a režimu prokládání - nehierarchický nebo hierarchický přenos. Nehierarchický přenos domultiplexuje jediný vstupní tok do podtoků.



Počet podtoků závisí na použité modulaci, u QPSK se jedná o 2 toky, 16-QAM používá 4 a 64-QAM až 6 podtoků. Každý podtok je ovlivněn zařízením na prokládání bitů, které obsahuje až 6 prokladačů (v závislosti na použité modulaci). Celý princip je založen na použití bloků, které se po jednom prokládají. Na velikost bloku nemá použitá modulace vliv a jedná se vždy o 126 bitů.



Obrázek 2.3: Blokové schéma DVB-T vysílače

Hierarchický režim bere tok s vyšší prioritou (HP) a demultiplexuje ho do dvou podtoků. Tok s nižší prioritou (LP) domultiplexuje do počtu podtoků, který je dán zvolenou modulací (u každé modulace je počet podtoků snížen o 2 na rozdíl počtů použitých podtoků při průběhu nehierarchického režimu). Modulace rozděluje vf kanály do dvou virtuálních větví o rozdílných vlastnostech.

Největší výhody OFDM spočívají v možnosti vysílat z vysílačů na stejném kmitočtu a tím dosáhnout lepšího výkonu (sítě SFN). Dále je velmi dobře chráněn proti chybivosti, což ve výsledku znamená lepší obraz u přijímací části. Díky této modulaci je taky možno přijímat vysílání mobilně a to za velmi přijatelných podmínek. Rozšíření C-OFDM poskytuje ještě bezpečnější přenos, kdy data jsou chráněna za pomoci RS a konvolčního kódu (princip FEC) proti chybivosti. C-OFDM používá paralelní přenos digitálních informací a nosné vlny rozesílá v určité posloupnosti v kanále. Díky tomu je

možný přenosný a mobilní příjem. Kanály používané pro toto rozšíření mívají šířku 6, 7 nebo 8 MHz. [3]

### 2.6.2 SFN sítě a princip vysílání na společné frekvenci

Na rozdíl od analogového vysílání, digitální vysílání může vysílat na stejných frekvencích bez toho, aby se vysílače navzájem rušily. U analogového vysílání jsme mohli pozorovat tzv. "*duchy*" v obraze. Uvedený jev způsobují odrazy signálu od překážek, které dorazí k přijímači později a tento odražený signál se poté zobrazí jako "*duch*". Díky modulaci OFDM vznikly sítě SFN založené na větším počtu vysílačů vysílajících na stejné frekvenci. Tyto sítě lépe pokrývají území a navzájem se doplňují. Toto u analogového vysílání nebylo možné, protože použitá technologie neposkytovala možnost, aby se vysílače vzájemně doplňovaly a z důvodů interference a rozdílných vzdáleností od přijímače bylo nutné používat rozdílné kmitočty. Takže způsoby využití kmitočtového spektra byly velmi omezené. Také fyzické překážky u digitálního vysílání mají menší vliv na nesený signál než v případě jednoho většího vysílače, který má za úkol pokrýt velkou oblast. Princip OFDM je založen na použití vícecestové modulace a používá stovky dílčích datových toků. Díky tomu je možné vkládat ochranný interval (GI). Tento interval poskytuje časovou mezeru v průběžném přenášení signálů mezi vysílačem a přijímačem. Vysílání by se dalo popsat jako "*zpomalené*", protože za pomoci tohoto intervalu se využívají i signály, které například z důvodu odrazu dorazily později. Samozřejmě vysílání ve výsledku zpomalené není. Velikost tohoto intervalu je dána počtem vysílačů, vzdáleností která má být pokryta a okolním prostředím. Synchronizace vysílačů se provádí většinou pomocí GPS přijímačů. [5]

Výhody SFN spočívají v dobrém využití kmitočtového pásma - na jednom kmitočtu se šíří jeden multiplex s velkým pokrytím. Sítě SFN jsou také mírnější na spotřebu energie potřebné k vysílání a hlavně při špatné poloze přijímače vůči jednomu vysílači je možné signál doplnit nebo nahradit vysíláním z jiného vysílače. Na druhou stranu pokud je vysílač špatně synchronizován s ostatními, tak v tom případě dochází k rušení signálu, a proto je nutno vysílače správně nastavit, synchronizovat a monitorovat.

## 2.7 Multiplexy a multiplexování

Jednotlivé programy pozemského digitálního vysílání v ČR se nevysílají jednotlivě, ale sloučené do jednoho "balíčku" zvaného multiplex. Na našem území můžeme najít čtyři hlavní vysílané multiplexy viz *tab. 2.3, 2.4, 2.5 a 2.6*. Aby vysílač mohl vysílat tyto "balíčky", musíme sloučit dohromady zvuk i obraz jednotlivých kanálů a doprovodných funkcí. Za pomoci multiplexeru, vytvoří jeden datový tok obsahující všechny programy, funkce atd. To probíhá tak, že zdrojové datové toky (PES) vycházející z vyrovnávací paměti komprimovaného obrazového a zvukového signálu jsou rozdělovány na menší jednotky (pakety) a přidá se k nim záhlaví s informacemi, které slouží k synchronizaci obrazu, zvuku a jiných dat. Bez těchto informací by se vysílal pouze nekonečný datový tok bez většího významu. Dále se dílčí signály multiplexují do jednoho výsledného toku (PS). Díky přenášení po paketech získává celý přenos lepší schopnost různého zpracování - jednotlivé pakety mohou být ukládány do paměti pro různá použití.

Ani jedna vysílací síť nepoužívá Hierarchický mód. Kromě těchto čtyř ještě existuje multiplex Klimkovice, který vysílá pouze mezi Frýdkem-Místkem a Opavou, a Regionální multiplex TV Gimi pokrývající území Českých Budějovic.[6]

Multiplex	1
TV Programy	ČT 1, ČT 2, ČT 24, ČT Sport
Rádiové stanice	8 stanic Českého Rozhlasu
Šířka pásma/Vysílací mód	8 MHz/8K
Modulace	64 QAM
Celková bitová rychlost	19,10 Mbit/s
Provozovatel multiplexu	Česká Televize

Tabulka 2.2: Informace o 1. Multiplexu k 7.12.2012

Multiplex	2
TV Programy	Nova, Prima Family, Prima COOL, TV Barrandov, Nova Cinema
Šířka pásma/Vysílací mód	8 MHz/8K
Modulace	64 QAM
Celková bitová rychlost	19,10 Mbit/s
Provozovatel multiplexu	České Radiokomunikace a.s.

Tabulka 2.3: Informace o 2. Multiplexu k 7.12.2012

Multiplex	3
Programy	Prima Love, Prima ZOOM, Óčko, TV Pětka, Šlágr TV
Rádiové stanice	Rádio Proglas
Šířka pásma/Vysílací mód	8 MHz/8K
Modulace	64 QAM
Celková bitová rychlost	24,88 Mbit/s
Provozovatel multiplexu	Czech Digital Group, a.s.

Tabulka 2.4: Informace o 3. Multiplexu k 7.12.2012

Multiplex	4
Programy	Fanda, Smíchov, Pohoda, Nova HD, ČT HD, Inzert TV
Šířka pásma/Vysílací mód	8 MHz/8K
Modulace	64 QAM
Provozovatel multiplexu	Digital Broadcasting s.r.o.

Tabulka 2.5: Informace o 4. Multiplexu k 7.12.2012

### 3 Závislost bitové chybovosti na kvalitě signálu BER

#### 3.1 Měřené parametry

Digitální vysílání obsahuje velké množství parametrů k měření. Může se jednat o parametry, které měříme na straně vysílače, přijímače nebo dokonce parametry měřené kdekoli na území sítě. Tyto měření většinou provádí firmy poskytující vysílací a přijímací zařízení a operátoři kvůli podmínkám pro realizaci či údržbu jejich potřeb. Operátoři provádějí měření a vyhodnocení výsledků za pomoci velmi kvalitních měřících přístrojů, aby mohli analyzovat všechny dostupné parametry u vysílačů, jako je transportní tok, synchronizace v síti, vf parametry vysílačů a I/Q analýzy. Pro měření na straně přijímače je možno použití jednoduššího zařízení pro měření. Tabulka *tab. 3.1* poskytuje seznam všech parametrů podle příručky ETSI TR 101 290.[1]

Parametr měření	Vysílač	Síť	Přijímač
Přesnost nastavených kmitočtů	X		
Šířka vf kanálu	X		
Měření délky symbolu	X		
Selektivita přijímače			X
Zachytávací rozsah AFC			X
Fázový šum místních oscilátorů	X		X
vf/mf výkon signálu	X		X
Šumová úroveň			X
vf a mf spektrum	X		
Citlivost přijímače/ dynamický rozsah pro Gaussův kanál			X
Rovnocenné šumové zkreslení (END)			X
Rovnocenná šumová hladina (ENF)			
Charakteristika linearity	X		
Výkonová účinnost	X		
Koherentní rušení	X	X	
BER v závislosti od C/N (při změně výst. výk. vysílače)	X	X	
BER v závislosti na C/N (při změnách Gauss. úrovně šumu)		X	X
BER před Viterbiho dekodérem	X	X	X
BER před RS (vnějším) dekodérem	X	X	X
BER za RS (vnějším) dekodérem	X	X	
Analýza složek I/Q	X		X
Měření MER	X	X	X
STE (System Target Error)	X		X
Synchronizace SFN	X		
Odolnost systému vůči chybám	X	X	X

Tabulka 3.1: Seznam měřených parametrů pro DVB-T[1]

### 3.2 Měření chybovosti BER

Bitová chybovost BER je nejdůležitější parametr pro kontrolu digitálního příjmu. Jedná se o poměr chybně přijatých bitů k celkovému počtu bitů, které byly vyslány, přijaty nebo zpracovány v jednom časovém úseku. Jedná se o bezrozměrné veličiny.

$$BER = \frac{N_{err}}{N_{bits}} \quad (3.1)$$

kde:

BER - Bitová chybovost

$N_{err}$  - počet chybně přijatých bitů

$N_{bits}$  - celkový počet přijatých bitů

#### a) BER v závislosti od C/N (při změně výstupního výkonu)

Tato závislost se určuje na straně vysílače nebo v síti. Na rozhraní vnitřního prokladače nebo mapovače (součásti vysílače) se přivede pseudonáhodná posloupnost (PRBS). Měřicí jednotka vygeneruje jednotlivé hodnoty poměru mezi úrovní nosné vlny a šumu superponováním Gaussovského šumu. BER se poté měří na měrném přijímači specializovaném na měření bitové chybovosti. Měření se pak opakuje v rozsahu středního vysílacího výkonu. Toto měření se hodí k porovnání technických parametrů vysílačů, nebo k ověření teoretických informací s reálnou výslednou hodnotou pro jeden vysílač.

#### b) BER v závislosti na C/N (při změnách úrovně Gaussovského šumu - přijímač)

Měření pomáhá určit kvalitu přijímače v závislosti na bitové chybovosti na měřícím se odstupě poměru mezi úrovní nosné vlny a šumu postupným přidáváním Gaussovského šumu. Jako v případě měření BER v závislosti od parametru poměru mezi úrovní nosné vlny a šumu se přivede PRBS na vysílači. Různé poměry poměru mezi úrovní nosné vlny a šumu na vstupu přijímače se vytvoří postupným přidáváním Gaussovského šumu.

#### c) BER před Viterbiho dekodérem

Měří se před dekodérem tak, že již dekodovaný přenos se znovu zakóduje se stejným kódovým poměrem (např. zúžený kód 2/3), aby byl získán srovnatelný datový přenos jako ve vysílači. Datový přenos se poté porovnává se signálem před Viterbiho de-

kóderem. Měření se provádí kvůli získání informací o bitové chybovosti celého vysílače, kanálu a přijímače, což znamená, že se chybovost měří jak na vysílači a přijímači, tak i v celé síti.

#### **d) BER před RS dekodérem**

Bitovou chybovost před vnějším RS dekodérem je možno měřit dvěma způsoby v závislosti na provozu. Pokud se měří mimo provoz, principem je generovat jednu řadu bitů stále dokola. Posloupnost je definována jako nulový paket ve standardu ISO/IEC 13818-1[7].

Za provozu při standardních podmínkách RS dekodér opraví chyby, které vznikly a vytvoří bezchybný paket transportního toku. Pokud dojde k dalším chybám může nastat situace, kdy RS dekodér nebude mít dost času pro opravu chyb a může dojít k jeho zahlcení. V takové situaci je parametr TEI nastaven na 1 (označení chyby v transportním toku).

#### **e) BER za RS dekodérem**

Velmi podobný jako BER před RS kóderem v provozu, ale místo poměru chyb se zde počítá s celkovým počtem chyb. Přijímač porovnává přijaté pakety s nulovými pakety. Měří se pouze v případě kdy BER před RS je menší než  $10^{-3}$ . [1]

### **3.3 Popis vybraných parametrů**

#### **Přesnost nastavení nosných kmitočtů**

Vztahuje se k OFDM a jedná se o přesnost nastavení kmitočtů nosných vln. Tento parametr je velmi důležitý pro SFN sítě. Pokud přesnost nastaveného kmitočtu pro daný vysílač je horší než 10 Hz, může dojít k rušení s vedlejším kanálem, kde například vysílá jiná služba. U MFN sítí by měla být přesnost lepší než 10 Hz. Měření se provádí za pomoci spektrálního analyzátoru s integrovaným čítačem a filtrem alespoň 300 Hz.

#### **Kontrola šířky kanálu**

Provádí se pro ověření přesnosti vzorkovacího kmitočtu na straně vysílače. Šířka pásma COFDM kanálu je závislá na kmitočtovém rozestupu nosných. Krajní kmitočty jsou spojitě pilotní nosné. Jejich kmitočty se změří a rozdíl se porovnává s nominální šířkou kanálu. Měření se provádí spektrálním analyzátozem s vysokou přesností.

## Měření délky symbolu

Ověřuje se samotný modulátor, jestli tvoří OFDM signál se správným intervalem. Měření pomáhá zkontrolovat pravou délku ochranného intervalu a porovnat ji s nominální. Měření se provádí spektrálním analyzátozem.

## Selektivita přijímače

Kontroluje se, zda přijímač je schopen správně oddělit užitečný signál od neužitečného. Způsob ověření spočívá v měření v určitém bodu vstupní úrovně na přijímací straně a v dalších dvou bodech se měří bitová chybovost. Vstupní úroveň je o 10 dB vyšší než nejnižší použitelná vstupní úroveň. Odstup nosné vlny od rušícího signálu je měřen jako funkce kmitočtu rušícího kanálu.

## Fázový šum místních oscilátorů

Fázový šum je rušivý parametr, způsobený odchylkami fáze okolních oscilátorů. Může ovlivnit přenos na obou koncích. COFDM můžou ovlivnit dva druhy tohoto šumu. První je společná fázová chyba (CPE). Tu lze opravit za pomoci spojitých pilotů. Druhý druh je vzájemná interference mezi jednotlivými nosnými (ICI), kterou se nedá ovlivnit. Na měření se používá spektrální, vektorový analyzátor nebo měřič fázového šumu.

## Měření výkonu šumu, odstup C/N a S/N

Šum má vždy negativní vliv na signál putující mezi vysílačem a přijímačem. Měří se na vstupu signálu do přijímače spektrálním analyzátozem. Odstup úrovně nosné vlny a úrovně šumu (C/N) je vyjádřen jako poměr úrovně výkonu užitečného signálu k úrovni šumu naměřené podle tohoto bodu.

## Vf spektrum a spektrální masky

Spektrum musí odpovídat spektrální masce, jinak může dojít k interferencím s ostatními kanály.



### Ekvivalentní šumové zkreslení (END)

Jedná se o nejobektivnější faktor pro hodnocení kvality signálu digitálního vysílače. Na hodnotu END má vliv fázový šum místních oscilátorů, zkreslení nedokonalou amplitudovou symetrií, zkreslení nelinearitami a odchylka ve fázovém posunu v IQ modulátoru. Hodnota END se počítá jako rozdíl poměru mezi úrovní nosné vlny a šumu při použití ideálního a reálného vysílače. Hodnota BER je  $2 \cdot 10^{-4}$  za Viterbiho dekodérem. Měří se hodnoty podle specifického zapojení a specifických podmínek.

### Analýza složek I/Q - MER

Do této sekce náleží více parametrů. Nejdůležitějším z nich je měření modulační chybovosti MER. Používá se k vyhodnocení složek I/Q a výsledek se zobrazuje pomocí konstelačního diagramu, tak jako u všech ostatních parametrů pro Analýzu I/Q složek. Diagram zobrazuje počáteční a koncový bod vektorů modulovaných vln za pomoci modulace QPSK. Pokud se oba body zobrazují ve středu tolerančního čtverce, jde o ideální stav. Pokud jsou tyto body do jakéhokoliv místa uvnitř čtverce, jde stále o kvalitní signál, ale pokud se body dostanou mimo danou oblast, dochází k zhoršení kvality signálu. Koncové body zobrazují nosné vlny v době kdy jsou vzorkovány. Analýzu lze provádět pouze na jedné nosné vlně nebo lze použít více vln. Ideální stav čtverce nelze nikdy zobrazit, protože na signál mají v praxi vždy vliv negativní vlivy. Kvalitu vzhledem k digitální modulaci vystihuje parametr MER.

### Výkonová účinnost vysílacích zařízení

Parametr určující energetickou výkonnost vysílače DVB-T. Počítá se jako poměr celkového výstupního výkonu do vysílače k celkovému výstupnímu výkonu z vysílače.[1]

$$n = \frac{Ps[kW]}{Np[kW]} * 100[\%] \quad (3.2)$$

kde:

n - výkonová účinnost vysílacích zařízení

Ps - vyzářený výkon vysílače

Np - příkon (spotřeba) vysílače

## 4 Měření DVB-T a DVB-S

Pro lepší pochopení vlivu jednotlivých parametrů na výsledný obraz a zvuk bylo provedeno měření. Díky tomuto měření je možno také určit, ve kterých případech lze označit kvalitu přijatého signálu jako výbornou, přijatelnou nebo nepřijatelnou. Naměřené hodnoty jsou také hlavním faktorem při realizaci stálého příjmu například pro danou domácnost. V případě problematického příjmu naměřené hodnoty pomohou zvolit správný typ antény, případně zesilovač antény a další zařízení pro vytvoření ideálního příjmu. Základním parametrem pro digitální příjem je úroveň signálu vysílaného vysílači. Kvalitu signálu můžeme také určit pomocí spektrální analýzy (propad nosných vln atd.). Dalším důležitým parametrem je bitová chybovost BER, popsána v kapitole 3. Všechna měření byla provedena s velmi podobnou lokalitou, což u digitálního vysílání pomůže při porovnání míry pokrytí pro jednotlivé multiplexy v dané oblasti.

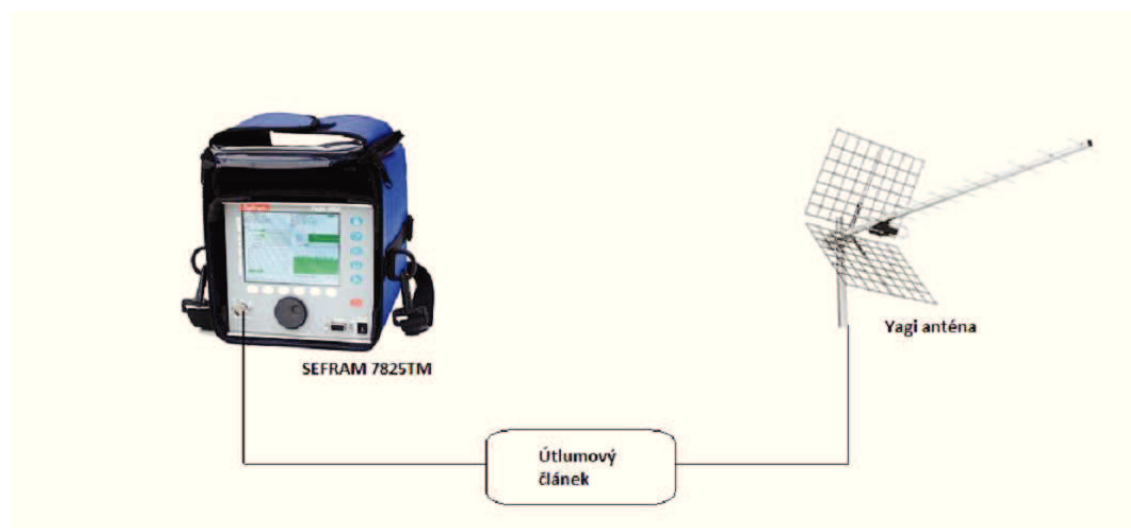
### 4.1 Postup měření - DVB-T

1. Pro měření DVB-T je potřeba zjistit vysílací parametry digitálních multiplexů v daném regionu. Jedná se hlavně o informace, na kterém kanálu vysílače v oblasti vysílají, frekvenci pro daný kanál a použitou modulaci.
2. Seznámení s měřícím přístrojem a sestavení měřícího pracoviště. Nastavení směrové antény do ideálního směru, kde signál dosahuje nejvyšší kvality.
3. Postupné přidávání útlumu a naměření hodnot za pomoci analyzátoru a jejich popis s popisem spektra.
4. Monitorování kvality obrazu a zvuku.
5. Vyhodnocení měření a vliv jednotlivých parametrů na výsledný obraz a zvuk.

### Použité přístroje:

- Analyzátor televizního vysílání SEFRAM 7825TM
- Směrová Yagi anténa pro příjem DVB-T signálu
- Útlumový článek ROHDE & SCHWARZ, útlum 0-110 dB, Impedance 75 ohm, kmitočtový rozsah 0-2000 MHz
- 2x koaxiální kabel s konektory BNC

### Schéma zapojení:



Obrázek 4.1: schéma zapojení

### Parametry antény:

11 elementů optimalizovaných pro příjem DVB-T

Rozsah: 21. - 69. kanál

Frekvenční rozsah: 470-862 MHz

Konstatnní zisk pro 860 MHz: 16,5 dB

Délka: 1290 mm

Předozadní poměr: 26dB

Větrná zátěž při 800N/m<sup>2</sup> (130km/h) = 106,5N

Větrná zátěž při 1100N/m<sup>2</sup> /150km/h) = 146,5N

## 4.2 Měření 1 - Multiplex 1 (DVB-T)

První měření bylo provedeno pro Multiplex 1 (veřejnoprávní multiplex) v Ostravě Porubě na GPS souřadnicích N 49 49.90176, E 18 09.51714. Měření proběhlo 27.2.2013 při rychlosti větru zhruba 26 km/h (příjemné podmínky, které by neměly mít velký vliv na nepřesnosti při měření). Přijatý signál byl také pravděpodobně ovlivněn velkou oblačností nebo smogem v nižších výškách.

Pro pokrytí vysílací sítě 1 v oblasti Ostravy jsou použity 2 vysílače - Hladnov a Hošťálkovice vysílající na 54. kanálu. Bližší informace o tomto kanále lze najít v příloze 1.

### Vysílače:

#### Vysílač Hošťálkovice

GPS souřadnice: 49°51'41.00"N, 18°12'45.00"E

Nadmořská výška: 287 m n. m.

Multiplex: 1

Kanál: 54

Výkon: 100 kW / 50.000 dBW

Polarizace: H



Obrázek 4.2: Oficiální mapa území pokrytého signálem multiplexu 1 - vysílač Hošťálkovice[8]

### Vysílač Hladnov

GPS souřadnice: 49°50'51.00"N, 18°18'19.00"E

Nadmořská výška: 265 m n. m.

Multiplex: 1

Kanál: 54

Výkon ERP : 10 kW / 40.000 dBW

Polarizace: H



Obrázek 4.3: Oficiální mapa území pokrytého signálem multiplexu 1 - vysílač Hladnov[8]

### Vyhodnocení měření:

Pro vyhodnocení kvality signálu je nejdůležitější parametr bitová chybovost (BER). Bitová chybovost byla měřena před Viterbiho dekodérem (CBER), kde byla měřena velikost chybovosti datového toku před korekcí. V druhém případě je bitová chybovost měřena za Viterbiho dekodérem (VBER), kde jsou vzniklé chyby již opraveny. Logicky hodnoty naměřené za Viterbiho dekodérem dokážou nejlépe přiblížit kvalitu výsledného obrazu a zvuku. Teoreticky by hodnota VBER pro bezchybný příjem měla být rovná nebo větší než  $2 \cdot 10^{-4}$ . Dalším důležitým parametrem je modulační chybovost (MER). Hodnota MER zobrazuje celkovou kvalitu přijatého signálu. Pro bezchybný příjem by měla být hodnota MER větší nebo rovna 22 dB. Samozřejmě musíme kontrolovat úroveň přijatého signálu, protože bez dostatečné úrovně není možné příjem realizovat. S tím souvisí i parametr pro kontrolu poměru nosné k šumu (C/N).

Toto měření zobrazuje vliv útlumu na jednotlivé parametry související s digitálním vysíláním. Oblast, ve které měření proběhlo, lze považovat za velmi dobře pokrytou, protože ke ztrátě obrazu je třeba na útlumovém článku přidat značný útlum. Je třeba brát v úvahu, že anténa v době měření byla přibližně 2 metry nad zemí. Kdyby bylo měření provedeno na střeše, kde je taky umístěna většina přijímačů, naměřené hodnoty by byly lepší a obraz by vydržel i při horších podmínkách. Díky rozdělení neseného signálu na více subnosných za pomoci modulace OFDM můžeme přijímat signál i v problémových oblastech. Často velké překážky mohou působit na signál pozitivně a díky odrazům a přidanému ochrannému intervalu může být signál lepší, což u analogového vysílání není možné.

Při úrovni signálu 43,2 dB $\mu$ V a poměru nosné k šumu 27,7 dB lze obraz sledovat téměř bez problému. Pouze zřídka se obraz na krátkou dobu sekne a občas lze sledovat kostičkování obrazu. Celkově je televizní vysílání pro diváka stále sledovatelné, ale určitě by v takovém případě bylo dobré použít zesilovač, lepší anténu či zkontrolovat polohu antény, jestli je nastavena v ideálním směru. Bez případného pokusu o zlepšení přijatého signálu může docházet, například při zhoršení počasí, k celkové ztrátě obrazu. Při úrovni signálu 41,8 dB $\mu$ V a poměru nosné k šumu 25,1 dB je obraz nesledovatelný a často vypadá. Lze sice vidět obraz na obrazovce, ale ten je po většinu času zamrzlý a ani zvuk není ve stavu, kdy by uživatel mohl slyšet souvisle alespoň jedinou větu. S úrovní signálu 40,9 dB $\mu$ V a poměru nosné k šumu 24,8 dB obraz již nelze naladit. Parametr MER zde také dosáhl hodnoty 22 dB což je minimální hranice pro bezchybný příjem. Přesto, že by obraz stále měl být bezproblémový, při MER 22 dB se obraz nezobrazoval. To bylo způsobenou vysokou bitovou chybovostí, která od začátku nedosahovala optimálních hodnot. Obraz začínal být chybový při chybovosti po korekci  $1 \cdot 10^{-2}$  a od hodnoty  $1,4 \cdot 10^{-2}$  a výše je vysílání nesledovatelné. Bitová chybovost před Viterbiho dekodérem by měla být v řádu  $10^{-4}$ , což v našem případě neodpovídá naměřeným hodnotám, ale i zde obraz vydržel po překročení této hranice. Tento parametr může být pro měření zavádějící a pro realizaci příjmu je lepší se řídit parametry VBER a MER. Poměr nosného signálu k šumu C/N zobrazuje o kolik je úroveň užitečného signálu vyšší než úroveň šumu. Tento parametr by měl být kontrolován na začátku měření, protože rozhoduje o tom, zda je možné v dané lokalitě signál přijímat. Závisí také na použité modulaci. V případě 64QAM teoreticky stačí hodnota 20 dB a vyšší. V tomto měření poměr nosného signálu k šumu klesl pod tuto úroveň až při úrovni signálu 35,5 dB $\mu$ V. V těchto případech lze považovat příjem jako znehodnocený. Kdyby byla použita modulace 16QAM, poměr mezi úrovní nosné vlny a šumu může klesnout až na 17 dB a obraz by stále neměl být ovlivněn tímto parametrem.

Případné odchylky v měření mohly být způsobeny povětrnostními podmínkami, mírným pohybem koaxiálních kabelů nebo antény. *Tab 4.1* zobrazuje pouze vybrané naměřené hodnoty. Tabulku všech naměřených hodnot lze nalézt v *příloze 3*.

$L_{at}$ (dB)	V(dB $\mu$ V)	C/N(dB)	CBER	VBER	UNC <	MER(dB)
0	62,8	49,8	$7,0 * 10^{-4}$	$1,0 * 10^{-5}$	$9 * 10^{-7}$	26,7
18	44,5	28,9	$9,9 * 10^{-3}$	$7,0 * 10^{-4}$	$2 * 10^{-6}$	24,4
19	43,2	27,7	$1,0 * 10^{-2}$	$1,8 * 10^{-3}$	$2 * 10^{-6}$	23,3
20	41,8	25,1	$1,4 * 10^{-2}$	$2,5 * 10^{-3}$	$2 * 10^{-6}$	22,2
21	40,9	24,8	$2,1 * 10^{-2}$	$3,6 * 10^{-3}$	$2 * 10^{-6}$	22,0

Tabulka 4.1: Tabulka naměřených hodnot pro multiplex 2, kanál 54

### 4.3 Měření 2 - Multiplex 2 (DVB-T)

Druhé měření bylo provedeno pro Multiplex 2 v Ostravě Porubě GPS souřadnicích N 49 49.90176, E 18 09.51714. Měření proběhlo 6.3.2013 při rychlosti větru zhruba 30 km/h. Síla větru byla celkem silná a mohla lehce ovlivnit měření (pohybem antény). Kromě silnějšího větru počasí bylo pro měření dobré - velmi malá oblačnost. Kvůli silnému větru byla pro jistotu snížena výška umístění antény. V případě, že anténa byla nastavena příliš vysoko, vítr pohyboval se směrovým natočením antény a v horším případě s celou anténou. Nižší výška by neměla mít větší vliv na přijatý signál.

#### Vysílače:

Stejně jako v případě Multiplexu 1 jsou i pro druhý multiplex použity stejné vysílače - Hladnov a Hoštálkovice. Jediný rozdíl je, že druhý multiplex se zde vysílá na 37. kanále, který vysílá na kmitočtu 602 MHz. Pokrytí oblasti je stejné jako v případě multiplexu 1. Bližší informace o tomto kanále lze najít v *příloze 1*. Pokrytí oblasti je také naprosto stejné, jak je zobrazeno na *obr. 4.2* a *obr. 4.3*.

#### Vyhodnocení měření:

Stejně jako v případě měření multiplexu 1 i zde byla anténa umístěna na podobném místě se srovnatelnou výškou. Vliv polohy antény na naměřené hodnoty by měl být minimální a lze předpokládat, že obě měření proběhla ve velmi podobných podmínkách. Oblast je velmi dobře pokryta a příjem by měl být bezproblémový.



Obrázek 4.4: Poloha antény při měření č. 2

Velmi dobrý příjem obrazu a zvuku fungoval až do doby, kdy hodnota úrovně signálu klesla na  $50,4 \text{ dB}\mu\text{V}$  s poměrem nosné k šumu  $34,9 \text{ dB}$ . Při této hodnotě se obraz co 10 až 15 sekund mírně zasekne, ale jinak je přenos v pořádku. Úroveň signálu  $49,3 \text{ dB}\mu\text{V}$  s poměrem nosné k šumu  $31,2 \text{ dB}$  působili na přenos znatelněji a nešlo jej sledovat - zvuk se sekal co 1 sekundu a v tomto stavu vydržel i delší dobu. Obraz je sice možno vidět, ale jde spíše o stav, kdy se uživatel dívá na jednotlivé obrázky než na plynulý přenos. Obraz totiž často zamrzá až na 7-8 sekund. Při úrovni signálu  $48,2 \text{ dB}\mu$  a poměru nosné k šumu  $31 \text{ dB}$  již nejde zobrazit obraz ani slyšet zvuk. Digitální "Cliff" efekt lze tedy sledovat od  $49,3 \text{ dB}\mu$  (poměr nosné k šumu  $31,2 \text{ dB}$ ) a při  $48,2 \text{ dB}\mu$  (poměr nosné k šumu  $31,0 \text{ dB}$ ) je již úplný. Analogové vysílání by v tomto případě teoreticky mělo jít stále zachytit, avšak jeho kvalita by značně klesala s každým snížením úrovně přijatého signálu a těžko by si mohlo zachovat kvalitu, kterou digitální vysílání poskytuje, než dojde k výše zmíněnému "Cliff" efektu.

Přijatý signál z vysílače byl silnější než v případě měření multiplexu 1. Ke ztrátě obrazu došlo v době, kdy přijatý signál dosahoval lepší úrovně než při výpadku obrazu u měření 1. Platilo to nejen v době ztráty obrazu, ale celého měření. Nelze tedy považovat parametr úrovně přijatého signálu (V) jako klíčový pro optimalizaci příjmu, ale vždy je nutné tento parametr kontrolovat, jestli se místo příjmu nenachází příliš daleko od vysílací antény a případně použít silnější anténu pro příjem nebo zesilovač. Poměr



nosné k šumu byl ve všech případech velmi dobrý a došel pod svoji minimální hodnotu 20 dB se dostal až s úrovní signálu 34,2 dB $\mu$ V. Chybovost modulace (MER), která se často využívá pro celkové zhodnocení přijatého signálu a je hodně ovlivněna bitovou chybovostí, dosáhla svojí minimální úrovně 22 dB při úrovni signálu 49-50 dB $\mu$ V a poměru nosné k šumu 31-35 dB. To dokazuje, že tento parametr je schopen poskytnout přibližnou představu o kvalitě přijatého signálu. Přesto při porovnání obou měření lze vidět, že k výpadku obrazu došlo při odlišných hodnotách a pro detailnější měření je třeba se zaměřit na bitovou chybovost. Bitová chybovost před korekcí (CBER), která se měří hlavně pro optimalizaci nastavení antény, v tomto měření byla ideální už od začátku. Ale hodnota bitové chybovosti je pro obraz mnohem důležitější až po korekci (VBER). Optimální bitová chybovost po korekci je  $9 \cdot 10^{-5}$  a tato hodnota byla překročena když úroveň signálu se pohybovala kolem 59 dB $\mu$ V. Pod svoji minimální hodnotu  $2 \cdot 10^{-4}$  se dostala s 55,7 dB $\mu$ V a poměrem nosné k šumu 39,4 dB. Po překročení této hranice obraz byl stále bezproblémový do doby, kdy VBER dosáhlo hodnotu  $1,3 \cdot 10^{-2}$ . Obraz vypadl úplně při  $7,9 \cdot 10^{-2}$ . Je třeba brát v úvahu, že tato hodnota je velmi pohyblivá a při každém měření byla v rozsahu horní a spodní hodnoty naměřeného útlumu.

Případné odchylky v měření mohly být způsobeny povětrnostními podmínkami, mírným pohybem koaxiálních kabelů nebo antény. Tab 4.1 zobrazuje pouze vybrané naměřené hodnoty. Tabulku všech naměřených hodnot lze nalézt v příloze 3.

L <sub>at</sub> (dB)	V(dB $\mu$ V)	C/N(dB)	CBER	VBER	UNC <	MER(dB)
0	68,5	51,4	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-6}$	25,2
19	51,1	35,7	$4,5 \cdot 10^{-2}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-6}$	22,4
20	50,4	34,9	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-6}$	22,2
21	49,3	31,2	$5,5 \cdot 10^{-2}$	$6,6 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-6}$	21,8
22	48,2	31,0	$6,1 \cdot 10^{-2}$	$7,9 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-6}$	19,8

Tabulka 4.2: Tabulka naměřených hodnot pro multiplex 2, kanál 37

#### 4.4 Postup měření - DVB-S

1. Zjištění vysílacích parametrů (frekvence, polarizace, bitová rychlost, standard) zadané družice pro příjem DVB-S a informace potřebné pro správné nasměrování přijímací antény na tuto družici (azimut, elevace).
2. Seznámení s měřicím přístrojem a sestavení měřicího pracoviště. Nastavení směrové antény do ideálního směru, kde signál dosahuje nejvyšší kvality.
3. Postupné přidávání útlumu a naměření hodnot za pomoci analyzátoru a jejich popis s

popisem spektra.

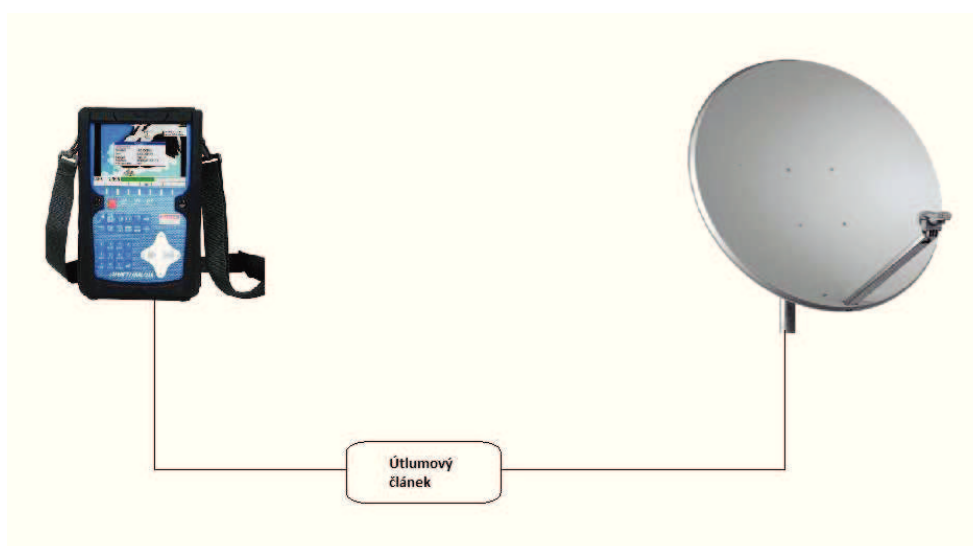
4. Monitorování kvality obrazu a zvuku.

5. Vyhodnocení měření a vliv jednotlivých parametrů na výsledný obraz a zvuk.

#### Použité přístroje:

- Analyzátor Sefram 7866HD
- Parabola 100 cm
- Konvertor Golden Interstar Single GI-201 Platinum X
- Útlumový článek ROHDE & SCHWARZ, útlum 0-110 dB, Z 75 ohm, 0-2000 MHz
- 2x koaxiální kabel s konektory BNC

#### Schéma zapojení:



Obrázek 4.5: schéma zapojení

#### Parametry antény:

Šumové číslo: 0,1 dB

Frekvenční rozsah: 10,7 - 12,75 GHz

Průměr hrdla pro uchycení: 40 mm

Délka krku: 50 mm - vhodný pro použití s multifokusem

Výsuvná krytka F-konektoru

Vhodný pro příjem digitálního satelitního signálu

#### 4.5 Měření 3 - DVB-S (Astra 19.2°E, Astra 23,5°E)

Zachycení signálu vysílaného z družic je komplikovanější než v případě pozemního digitálního vysílání, kde často není problém zachytit přenos i špatně nastaveným směrem antény. Při realizaci příjmu DVB-S je potřeba mít přesně nastaven směr i elevaci přijímací antény. Pokud nejsou splněny tyto podmínky, jen těžko lze zachytit vysílání z družic tak, aby jsme získali obraz a zvuk. V případě měření v terénu může být měření problematické, protože kombinace horších povětrnostních podmínek a nefixní rozložení měřicího stanoviště může působit na změnu polohy přijímací antény. Důležité také je, aby ve směru k družici se nenalézali jakékoliv fyzické překážky. Měřicí stanoviště bylo umístěno na GPS souřadnicích N 49 49.88928 E 18 09.48846. Měření proběhlo 6.3.2013



Obrázek 4.6: Měřicí stanice

##### Měření A - Astra 19.2°E:

Satelitní systém Astra 19.2°E poskytuje domácnostem velký počet programů. Jedná se většinou o volně šířitelné nekódované zahraniční TV programy. Tento satelitní systém obsahuje satelitní stanice Astra 1KR, Astra 1L, Astra 1M, Astra 2C a Astra 2B. Uživatel nemusí nasměrovat přijímač na jednotlivou stanici, protože všechny se vzájemně doplňují a působí na společném azimutu. Naměřené hodnoty lze nalézt v *tab. 4.3*.

Zvolená TV stanice:

Název: Al Jazeera International

Norma: DVB-S

Kmitočet: 11,509 GHz

Polarizace: Vertikální

Jazyk: Anglický

FEC: 5/6

Symbol Rate: 22000

Kódování: žádné

**Měření B - Astra 23,5°E:**

Pokud již máme nalezený směr pro Astru 19.2°E, je možno naladit Astru 23,5°E změnou směru přijímací antény zhruba o 10 cm doleva. Pro příjem Astry 3(23,5°E) se používají tyto satelitní stanice: Astra 3A, Astra 3B, Thor 2 a Astra 1D. Najdeme zde více zakódovaných programů než u Astry 1 (19.2°E). Naměřené hodnoty lze nalézt v *tab. 4.4*.

Zvolená TV stanice:

Název: TV Óčko

Norma: DVB-S

Kmitočet: 12,168 GHz

Polarizace: Vertikální

Jazyk: Český

FEC: 3/4

Symbol Rate: 27500

Kódování: žádné

**Vyhodnocení měření:**

Zachycení satelitního signálu je komplikovanější než zachycení signálu pro pozemní vysílání. Teoreticky zachycení signálu není problém, ale nastavit přijímací anténu (LNB) tak, aby signál byl dostatečně silný pro zobrazení TV vysílání, může být komplikovanější. Je důležité znát alespoň přibližnou polohu, ze které přichází signál ze satelitních vysílačů. Finální směr a elevace musí být nastavena na centimetry přesně a jako pomoc může sloužit spektrální analýza. Při vyhodnocení měření je třeba brát v úvahu, že minimální a optimální hodnoty nejsou pro každý vysílaný program stejné a vše záleží na normě satelitního vysílání (DVB-S/S2) a na zvoleném režimu metody pro zjišťování a

opravování chyb (FEC). Při satelitním vysílání lze měřit klasické hodnoty spojené s bitovou chybovostí, úrovně signálu (RF), poměr signál/šum (C/N) a elektrický odběr LNB (VLNB).

V případě vysílání TV stanice Al Jazeera International (DVB-S) je použit režim FEC 5/6, takže minimální hodnota pro MER by měla být 11 dB a optimální hodnota 14 dB. Bez přidaného útlumu se z místa měření podařilo naměřit skoro optimální hodnotu, ale s každým přidaným decibelem na útlumu docházelo ke zhoršení modulační chybovosti a již při úrovni signálu 69,3 dB $\mu$ V a poměru nosné k šumu 12,6 dB nastal celkový "Cliff" efekt a obraz ani zvuk nelze naladit. S touto úrovní se hodnota MER dostala pod svoji minimální hodnotu. Úroveň signálu byla také velmi dobrá již od začátku měření a pod svoji minimální úroveň se vůbec nedostala. Tento parametr je důležitý pro kontrolu zvoleného místa pro zachycení signálu, ale pokud síla signálu neklesne pod minimální úroveň, neměl by ve větší míře ovlivnit kvalitu vysílání. Elektrický odběr zase slouží pro kontrolu napájení satelitního konvertoru. Za méně důležitý lze také považovat parametr poměru přijatého signálu k šumu a pokud při realizaci příjmu hodnota tohoto parametru není velmi nízká, nemá větší vliv na příjem. Na rozdíl od poměru mezi úrovní nosné vlny a šumu je zásadní bitová chybovost za Viterbiho dekodérem. Poměr chyb za Viterbiho dekodérem by měl být minimálně  $2 \cdot 10^{-6}$  a optimálně  $2 \cdot 10^{-8}$ . Klesající síla signálu neměla na bitovou chybovost za Viterbiho dekodérem velký vliv a přestože obraz již nebylo možno naladit, VBER bylo stále nad optimální hodnotou.

$L_{at}$ (dB)	RF(dB $\mu$ V)	C/N (dB)	VLNB(V)	ILNB(mA)	CBER	VBER	MER(dB)	UNC <
0	74,4	13,3	12,9	80,2	$4,2 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-10}$	13,6	$9 \cdot 10^{-7}$
3	72,6	12,9	13,0	129,0	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-9}$	12,9	$9 \cdot 10^{-6}$
4	71,9	12,8	13,0	142,9	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-9}$	12,5	$5 \cdot 10^{-6}$
5	69,3	12,6	13,0	154,2	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-9}$	12,1	$9 \cdot 10^{-6}$
6	68	12,5	13,0	158,3	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$3,8 \cdot 10^{-9}$	10,9	$3 \cdot 10^{-6}$

Tabulka 4.3: Tabulka naměřených hodnot - Astra 19.2°E - Al Jazeera International

$L_{at}$ (dB)	RF(dB $\mu$ V)	C/N (dB)	VLNB(V)	ILNB(mA)	CBER	VBER	MER(dB)	UNC <
0	73,9	17,1	12,9	71,3	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-9}$	13,4	$1 \cdot 10^{-6}$
5	70,1	14,4	12,9	146,4	$6,2 \cdot 10^{-4}$	$6,2 \cdot 10^{-9}$	10,8	$9 \cdot 10^{-5}$
6	64,8	13,3	13,0	155,9	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$6,9 \cdot 10^{-9}$	10,5	$5 \cdot 10^{-6}$
7	55,7	7,6	13,0	158,3	$3,4 \cdot 10^{-3}$	$7,8 \cdot 10^{-9}$	10,0	$4 \cdot 10^{-6}$
8	49,6	6,8	13,0	155,5	$7,1 \cdot 10^{-3}$	$8,7 \cdot 10^{-9}$	9,2	$4 \cdot 10^{-6}$

Tabulka 4.4: Tabulka naměřených hodnot - Astra 23,5°E - TV Ōčko

TV Óčko vysílané na Astrě 23,5°E používá standard DVB-S a FEC režim 3/4. Tento režim poskytuje lepší odolnost proti modulační chybovosti a teoreticky by k zachycení TV vysílání měla postačit modulační chybovost 10 dB a při 13 dB by mělo být vysílání ideální. To platilo i v provedeném měření, kde sice signál z družice byl od začátku o něco slabší, ale obraz šel zachytit i při úrovni přijatého signálu 55,7 dB $\mu$ V a poměru nosné k šumu 7,6 dB. K přerušení signálu došlo při úrovni 49,6 dB $\mu$ V a poměru nosné k šumu 6,8 dB v době kdy modulační chybovost klesla pod svoji ideální hranici. I v tomto měření hodnota VBER byla velmi dobrá po celou dobu měření. V takovém případě je třeba najít jiný parametr, který měl vliv na ztrátu obrazu. Pokud by u měření došlo k výpadku díky malé úrovni přijatého signálu, řešením by v tomto případě bylo pravděpodobně použití větší paraboly.

Případné odchylky v měření mohly být způsobeny mírným pohybem koaxiálních kabelů nebo paraboly. *Tab 4.3* a *Tab 4.4* zobrazují pouze vybrané naměřené hodnoty. Tabulky všech naměřených hodnot pro toto měření lze nalézt v *příloze 5* a *příloze 6*.

## 5 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo popsat stručně problematiku televizního vysílání a jeho standardy. Dále naměřit a vyhodnotit parametry, obzvláště bitovou chybovost, spojené s digitálním vysíláním v satelitní a pozemní formě.

Měření dokazuje, že digitální vysílání je celkem odolné proti negativním vlivům. V případě pozemního vysílání DVB-T je odolnost lepší než v případě DVB-S, kde nešlo obraz naladit při podmínkách kdy příjem DVB-T byl stále kvalitní. Ale musí se brát v úvahu, že DVB-S je založena na rozdílném principu a je optimalizována pro satelitní příjem. Hlavní rozdíl je v tom, že přijímač pro DVB-S je natočen přímo na satelitní systém a nepočítá s překážkami a jinými faktory, které negativně ovlivňují signál. DVB-T je proti tomu odolnější, protože se počítá, že pozemské vysílání po cestě narazí na větší množství překážek apod.

Všechna měření proběhla v oblasti, která je ideálně pokrytá, takže lze všechny výsledky společně porovnat a vyhodnotit. Tato práce dokazuje, že při realizaci digitálního příjmu je potřeba brát v úvahu všechny parametry a podle jejich vyhodnocení zvolit ideální místo příjmu a anténu, případně zesilovač. Například podle úrovně signálu se zjistí, jestli se místo příjmu vůbec nachází v pokryté oblasti a jestli není vysílač příliš daleko. Když víme, že jsme v dobře pokryté oblasti (úroveň signálu je rovna nebo větší než je minimální hodnota), ale obraz stále nemůžeme zachytit nebo obraz není kvalitní, je třeba se zaměřit na ostatní parametry. Bitová chybovost za Viterbiho dekodérem může odhalit případné negativní vlivy jako je útlum a šum oscilátorů. Pokud tedy hodnota VBER není optimální, je potřeba zkontrolovat správné umístění antény a případně zvolit lepší místo. Hodnota bitové chybovosti zase může pomoci při nastavování směru. I když často stačí najít směr, kde signál je nejsilnější, v některých případech je dobré zkontrolovat tuto hodnotu a podle ní směr antény upravit. Bitová chybovost má velký vliv na příjem, ale v případě DVB-S tato hodnota je v našem případě velmi dobrá a lze předpokládat, že je parabola nastavena přímo na družici a nestojí v cestě signálu žádné překážky. Pokud by překážky mezi parabolou a satelitem byly, jen těžko by šlo přijmout signál v dostatečné síle. Pro celkové zhodnocení příjmu slouží parametr MER. I provedená měření dokazují, že tento parametr nejlépe zobrazuje kvalitu přijatého signálu a technik by měl v první řadě zkontrolovat tuto hodnotu. Pokud tato hodnota je nad minimální úrovní, příjem ve většině případů bude dostatečný. Pokud ne, je třeba věnovat pozornost ostatním parametrům.

Na rozdíl od realizace příjmu DVB-T je u DVB-S často nutná pomoc odborníka. Nastavení paraboly může být obtížné a bez znalosti polohy družic může být příjem sig-

nálu problematický a nelze se vždy řídit teoretickými informacemi. Je třeba také zdůraznit, že přechod pro digitálního vysílání přinesl velký pokrok v oblasti TV vysílání a analogové vysílání nemůže této technologii ani zdaleka konkurovat.



## 6 Reference

- [1] LEGÍŇ, Martin. *Televizní technika DVB-T*. Praha: nakladatelství BEN, 2007. ISBN 978-80-7300-204-3.
- [2] Kmitočty televizních kanálů podle různých norem[online]; *Kmitočty televizních kanálů podle různých norem, Petr Hora*. [cit. 31.1.2013].  
[http://www.dx.cz/upload/BBi/zoznamy/Kmitocty\\_TV\\_kanalu.pdf](http://www.dx.cz/upload/BBi/zoznamy/Kmitocty_TV_kanalu.pdf)
- [3] Digitální vysílání dvb obecně: technické základy[online]; *Digitální vysílání dvb obecně: technické základy, Jiří Toman, Ivo Procházka*. [cit. 31.1.2013].  
<http://www.ceskatelevize.cz/vse-o-ct/technika/digitalni-vysilani-dvb-obecne/technicke-zaklady/>
- [4] Satellite Telecom Training [online]; *Satellite Telecom Training, SES ASTRA S.A.* [cit. 1.2.2013].  
<http://www.ses.com>
- [5] Jak funguje DVB-T [online]; *Modulace a vysílání, SES ASTRA S.A.* [cit. 7.2.2013].  
<http://www.digizone.cz/specialy/jak-funguje-dvb-t/modulace-vysilani/>
- [6] Multiplexování [online]; *Multiplex, DigitálníTelevize.cz*. [cit. 11.2.2013].  
<http://www.digitalnitelevize.cz/informace/dvb-t/multiplex.html>
- [7] Vít, Valdimír. *Televizní technika, přenosové barevné soustavy*. Praha: nakladatelství BEN, 1997. ISBN 80-86056-04-X.
- [8] Digitální vysílací sítě (multiplexy) v České republice [online]; *Digitální vysílací sítě, DigitálníTelevize.cz*. [cit. 11.3.2013].  
<http://www.digitalnitelevize.cz/informace/dvb-t/dvb-t-v-ceske-republice.html>
- [9] Přehled digitálních TV programů [online]; *Přehled digitálních TV programů, Parabola.cz - České satelitní centrum*. [cit. 18.3.2013].  
<http://www.parabola.cz/prehledy/>

- [10] DVB-S Technická prezentace[online]; *DVB-S2 Technical Presentation* , *Advantech Wireless*. [cit. 15.4.2013].  
<http://www.advantechwireless.com/wp-content/uploads/DVB-S2-theory.pdf>
- [11] Společné antény (STA) a televizní rozvody[online]; *STA* , *DigitálníTelevize.cz*. [cit. 16.4.2013].  
<http://www.digitalnitelevize.cz/informace/dvb-t/televizni-rozvody.html>

**Seznam příloh**

Příloha 1 - Kmitočty TV kanálů v 4.-5. TV pásmu (UHF)

Příloha 2 - Kmitočty TV kanálů podle CCIR D/K - 1.-3. TV pásmo (VHF)

Příloha 3 - Tabulka naměřených hodnot pro multiplex 1, kanál 54

Příloha 4 - Tabulka naměřených hodnot pro multiplex 2, kanál 37

Příloha 5 - Tabulka naměřených hodnot - Astra 19.2°E - Al Jazeera International

Příloha 6 - Tabulka naměřených hodnot - Astra 23,5°E - TV Óčko

Kanál	NS kmitočet střední	NS km. obrazu	NS km. zvuku(K)	NS km. zvuku(G)
21.	474	471,25	477,25	476,75
22.	482	479,25	485,75	484,75
23.	490	487,25	493,75	492,75
24.	498	495,25	501,75	500,75
25.	506	503,25	509,75	508,75
26.	514	511,25	517,75	516,75
27.	522	519,25	525,75	524,75
28.	530	527,25	533,75	532,75
29.	538	535,25	541,75	540,75
30.	546	543,25	549,75	548,75
31.	554	551,25	557,75	556,75
32.	562	559,25	565,75	564,75
33.	570	567,25	573,75	572,75
34.	578	575,25	581,75	580,75
35.	586	583,25	589,75	588,75
36.	594	591,25	597,75	596,75
37.	602	599,25	605,75	604,75
38.	610	607,25	613,75	612,75
39.	618	615,25	621,75	620,75
40.	626	623,25	629,75	628,75
41.	634	631,25	637,75	636,75
42.	642	639,25	645,75	644,75
43.	650	647,25	653,75	652,75
44.	658	655,25	661,75	660,75
45.	666	663,25	669,75	668,75
46.	674	671,25	677,75	676,75
47.	682	679,25	685,75	684,75
48.	690	687,25	693,75	692,75
49.	698	695,25	701,75	700,75
50.	706	703,25	709,75	708,75
51.	714	711,25	717,75	716,75
52.	722	719,25	725,75	724,75
53.	730	727,25	733,75	732,75
54.	738	735,25	741,75	740,75
55.	746	743,25	749,75	748,75
56.	754	751,25	757,75	756,75
57.	762	759,25	765,75	764,75
58.	770	767,25	773,75	772,75
59.	778	775,25	781,75	780,75
60.	786	783,25	789,75	788,75
61.	794	791,25	797,75	796,75
62.	802	799,25	805,75	804,75
63.	810	807,25	813,75	812,75
64.	818	815,25	821,75	820,75
65.	826	823,25	829,75	828,75
66.	834	831,25	837,75	836,75
67.	842	839,25	845,75	844,75
68.	850	847,25	853,75	852,75
69.	858	855,25	861,75	860,75

Tabulka 6.1: Příloha 1 - Kmitočty TV kanálů v jednotkách MHz ve 4.-5. TV pásmu (UHF)

<b>Tv pásmo</b>	<b>Kanál</b>	<b>Nosný kmitočet obrazu</b>	<b>Nosný kmitočet zvuku</b>
1.	R1	49,75	56,25
1.	R2	59,25	65,75
2.	R3	77,25	83,75
2.	R4	85,25	91,75
2.	R5	93,25	99,75
3.	R6	175,25	181,75
3.	R7	183,25	189,75
3.	R8	191,25	197,75
3.	R9	199,25	205,75 z
3.	R10	207,25	213,75
3.	R11	215,25	221,75
3.	R12	223,25 Hz	223,25

Tabulka 6.2: Příloha 2 - Kmitočty TV kanálů v jednotkách MHz podle soustavy CCIR D/K - 1. -3. TV pásmo (VHF)

$L_{at}(\text{dB})$	$V(\text{dB}\mu\text{V})$	$C/N(\text{dB})$	CBER	VBER	UNC <	MER(dB)
0	62,8	49,8	$7,0 * 10^{-4}$	$1,0 * 10^{-5}$	$9 * 10^{-7}$	26,7
1	61,5	46,2	$1,1 * 10^{-3}$	$1,8 * 10^{-5}$	$2 * 10^{-6}$	26,3
2	60,2	43,4	$3,2 * 10^{-3}$	$2,1 * 10^{-5}$	$2 * 10^{-6}$	26,2
3	59,6	42,8	$3,3 * 10^{-3}$	$2,7 * 10^{-5}$	$2 * 10^{-6}$	26,2
4	59,1	41,3	$3,5 * 10^{-3}$	$3,6 * 10^{-5}$	$2 * 10^{-6}$	25,8
5	56,9	40,8	$3,5 * 10^{-3}$	$4,2 * 10^{-5}$	$3 * 10^{-6}$	25,2
6	55,5	40,1	$3,8 * 10^{-3}$	$4,9 * 10^{-5}$	$5 * 10^{-6}$	25,2
7	53,4	37,9	$4,6 * 10^{-3}$	$5,1 * 10^{-5}$	$2 * 10^{-6}$	25,1
8	53,1	37,4	$5,2 * 10^{-3}$	$5,5 * 10^{-5}$	$5 * 10^{-6}$	25,1
9	52,0	36,8	$5,5 * 10^{-3}$	$5,9 * 10^{-5}$	$5 * 10^{-6}$	25,0
10	51,5	35,5	$5,9 * 10^{-3}$	$6,3 * 10^{-5}$	$5 * 10^{-6}$	25,0
11	50,8	34,9	$6,2 * 10^{-3}$	$6,9 * 10^{-5}$	$5 * 10^{-6}$	25,0
12	49,9	34,1	$6,4 * 10^{-3}$	$7,8 * 10^{-5}$	$5 * 10^{-6}$	24,9
13	49,0	33,5	$6,6 * 10^{-3}$	$1,0 * 10^{-4}$	$2 * 10^{-6}$	24,8
14	48,4	32,9	$6,9 * 10^{-3}$	$2,1 * 10^{-4}$	$2 * 10^{-6}$	24,8
15	47,0	31,8	$7,4 * 10^{-3}$	$3,7 * 10^{-4}$	$2 * 10^{-6}$	24,7
16	45,9	30,6	$8,3 * 10^{-3}$	$4,5 * 10^{-4}$	$2 * 10^{-6}$	24,6
17	45,1	29,6	$9,2 * 10^{-3}$	$5,8 * 10^{-4}$	$2 * 10^{-6}$	24,5
18	44,5	28,9	$9,9 * 10^{-3}$	$7,0 * 10^{-4}$	$2 * 10^{-6}$	24,4
19	43,2	27,7	$1,0 * 10^{-2}$	$1,8 * 10^{-3}$	$2 * 10^{-6}$	23,3
20	41,8	25,1	$1,4 * 10^{-2}$	$2,5 * 10^{-3}$	$2 * 10^{-6}$	22,2
21	40,9	24,8	$2,1 * 10^{-2}$	$3,6 * 10^{-3}$	$2 * 10^{-6}$	22,0
22	39,5	24,2	$2,9 * 10^{-2}$	$7,6 * 10^{-3}$	$2 * 10^{-6}$	21,9
23	38,4	23,4	$3,4 * 10^{-2}$	$1,1 * 10^{-2}$	$5 * 10^{-6}$	19,5
24	38,2	22,9	$4,3 * 10^{-2}$	$5,0 * 10^{-2}$	$5 * 10^{-6}$	18,9
25	36,8	21,5	$5,6 * 10^{-2}$	$6,4 * 10^{-2}$	$5 * 10^{-6}$	18,6
26	35,8	20,2	$6,7 * 10^{-2}$	$2,2 * 10^{-1}$	$5 * 10^{-6}$	18,4
27	35,5	19,8	neměří	neměří	neměří	18,1
28	35,0	19,5	neměří	neměří	neměří	neměří
29	33,3	17,3	neměří	neměří	neměří	neměří
30	31,5	15,5	neměří	neměří	neměří	neměří
35	27,1	11,6	neměří	neměří	neměří	neměří
40	23,2	7,3	neměří	neměří	neměří	neměří

Tabulka 6.3: Příloha 3 - Tabulka naměřených hodnot pro multiplex 1, kanál 54

$L_{at}(\text{dB})$	$V(\text{dB}\mu\text{V})$	$C/N(\text{dB})$	CBER	VBER	UNC <	MER(dB)
0	68,5	51,4	$1,1 * 10^{-2}$	$1,3 * 10^{-5}$	$1 * 10^{-6}$	25,2
1	67,1	51,4	$1,1 * 10^{-2}$	$1,5 * 10^{-5}$	$1 * 10^{-6}$	25,0
2	66,6	51,0	$1,2 * 10^{-2}$	$1,6 * 10^{-5}$	$1 * 10^{-6}$	24,9
3	66,0	49,3	$1,2 * 10^{-2}$	$1,8 * 10^{-5}$	$1 * 10^{-6}$	24,9
4	64,3	48,7	$1,3 * 10^{-2}$	$2,5 * 10^{-5}$	$1 * 10^{-6}$	24,7
5	63,9	47,6	$1,4 * 10^{-2}$	$3,8 * 10^{-5}$	$1 * 10^{-6}$	24,7
6	63,5	47,3	$1,5 * 10^{-2}$	$5,0 * 10^{-5}$	$1 * 10^{-6}$	24,6
7	62,9	46,6	$1,5 * 10^{-2}$	$4,4 * 10^{-5}$	$1 * 10^{-6}$	24,6
8	60,3	44,9	$1,7 * 10^{-2}$	$5,6 * 10^{-5}$	$1 * 10^{-6}$	24,6
9	60,1	43,8	$1,7 * 10^{-2}$	$7,0 * 10^{-5}$	$1 * 10^{-6}$	24,6
10	59,7	42,9	$1,9 * 10^{-2}$	$7,5 * 10^{-5}$	$1 * 10^{-6}$	24,5
11	59,4	43,1	$2,2 * 10^{-2}$	$8,5 * 10^{-5}$	$1 * 10^{-6}$	24,4
12	57,9	42,4	$2,3 * 10^{-2}$	$1,7 * 10^{-5}$	$1 * 10^{-6}$	24,4
13	56,5	41,8	$2,4 * 10^{-2}$	$1,8 * 10^{-4}$	$1 * 10^{-6}$	24,2
14	55,7	39,4	$2,8 * 10^{-2}$	$3,2 * 10^{-4}$	$1 * 10^{-6}$	23,6
15	54,5	38,8	$3,5 * 10^{-2}$	$1,3 * 10^{-3}$	$1 * 10^{-6}$	23,6
16	53,9	37,7	$3,7 * 10^{-2}$	$1,6 * 10^{-3}$	$2 * 10^{-6}$	23,6
17	52,4	36,9	$4,0 * 10^{-2}$	$4,0 * 10^{-3}$	$2 * 10^{-6}$	22,5
18	51,6	36,0	$4,2 * 10^{-2}$	$4,6 * 10^{-3}$	$2 * 10^{-6}$	22,4
19	51,1	35,7	$4,5 * 10^{-2}$	$1,3 * 10^{-2}$	$2 * 10^{-6}$	22,4
20	50,4	34,9	$5,0 * 10^{-2}$	$2,5 * 10^{-2}$	$2 * 10^{-6}$	22,2
21	49,3	31,2	$5,5 * 10^{-2}$	$6,6 * 10^{-2}$	$2 * 10^{-6}$	21,8
22	48,2	31,0	$6,1 * 10^{-2}$	$7,9 * 10^{-2}$	$2 * 10^{-6}$	19,8
23	47,2	30,8	$6,9 * 10^{-2}$	$3,7 * 10^{-1}$	$1 * 10^{-6}$	19,7
24	46,2	29,9	$7,8 * 10^{-2}$	$6,0 * 10^{-1}$	$2 * 10^{-3}$	18,9
25	44,9	29,8	neměří	neměří	neměří	neměří
26	44,5	28,4	neměří	neměří	neměří	neměří
27	42,8	26,6	neměří	neměří	neměří	neměří
28	42,4	26,0	neměří	neměří	neměří	neměří
29	42,0	25,7	neměří	neměří	neměří	neměří
30	40,6	24,1	neměří	neměří	neměří	neměří
35	34,2	17,9	neměří	neměří	neměří	neměří
40	30,6	13,6	neměří	neměří	neměří	neměří

Tabulka 6.4: Příloha 4 - Tabulka naměřených hodnot pro multiplex 2, kanál 37

$L_{at}$ (dB)	RF(dB $\mu$ V)	C/N(dB)	VLNB(V)	ILNB(mA)	CBER	VBER	MER(dB)	UNC <
0	74,4	13,3	12,9	80,2	$4,2 * 10^{-5}$	$5,0 * 10^{-10}$	13,6	$9 * 10^{-7}$
1	73,8	13,3	12,9	98,1	$1,0 * 10^{-4}$	$1,2 * 10^{-9}$	13,4	$2 * 10^{-6}$
2	72,8	13,5	13,0	115,2	$1,2 * 10^{-4}$	$2,6 * 10^{-9}$	13,2	$5 * 10^{-6}$
3	72,6	12,9	13,0	129,0	$2,2 * 10^{-4}$	$2,8 * 10^{-9}$	12,9	$9 * 10^{-6}$
4	71,9	12,8	13,0	142,9	$2,1 * 10^{-4}$	$3,0 * 10^{-9}$	12,5	$5 * 10^{-6}$
5	69,3	12,6	13,0	154,2	$1,2 * 10^{-3}$	$3,0 * 10^{-9}$	12,1	$9 * 10^{-6}$
6	68	12,5	13,0	158,3	$1,6 * 10^{-3}$	$3,8 * 10^{-9}$	10,9	$3 * 10^{-6}$
7	64,3	12,1	13,0	159,9	$2,1 * 10^{-3}$	$4,3 * 10^{-9}$	10,5	$3 * 10^{-6}$
8	57,9	11,6	13,0	159,9	$2,3 * 10^{-3}$	$3,6 * 10^{-9}$	10,4	$5 * 10^{-6}$
9	52,0	10,5	13,0	159,9	$3,0 * 10^{-3}$	$5,2 * 10^{-9}$	9,9	$3 * 10^{-6}$
10	43,4	9,4	13,0	159,9	$4,6 * 10^{-3}$	$3,9 * 10^{-9}$	9,4	$1 * 10^{-5}$

Tabulka 6.5: Příloha 5 - Tabulka naměřených hodnot - Astra 19.2°E - Al Jazeera International

$L_{at}$ (dB)	RF(dB $\mu$ V)	C/N(dB)	VLNB(V)	ILNB(mA)	CBER	VBER	MER(dB)	UNC <
0	73,9	17,1	12,9	71,3	$1,8 * 10^{-5}$	$1,0 * 10^{-9}$	13,4	$1 * 10^{-6}$
1	73,2	16,7	12,9	90,0	$7,3 * 10^{-5}$	$2,4 * 10^{-9}$	13,1	$4 * 10^{-6}$
2	72,5	15,9	13,0	107,1	$1,4 * 10^{-4}$	$3,3 * 10^{-9}$	12,5	$7 * 10^{-6}$
3	71,6	15,8	13,0	122,5	$2,1 * 10^{-4}$	$3,9 * 10^{-9}$	12,2	$6 * 10^{-6}$
4	70,7	15,8	13,0	135,5	$4,7 * 10^{-4}$	$6,0 * 10^{-9}$	11,6	$6 * 10^{-6}$
5	70,1	14,4	12,9	146,4	$6,2 * 10^{-4}$	$6,2 * 10^{-9}$	10,8	$9 * 10^{-5}$
6	64,8	13,3	13,0	155,9	$1,4 * 10^{-3}$	$6,9 * 10^{-9}$	10,5	$5 * 10^{-6}$
7	55,7	7,6	13,0	158,3	$3,4 * 10^{-3}$	$7,8 * 10^{-9}$	10,0	$4 * 10^{-6}$
8	49,6	6,8	13,0	155,5	$7,1 * 10^{-3}$	$8,7 * 10^{-9}$	9,2	$4 * 10^{-6}$
9	44,4	5,7	13,0	159,4	$1,2 * 10^{-2}$	$9,5 * 10^{-9}$	8,5	$1 * 10^{-5}$
10	25,6	4,0	12,9	161,6	$1,7 * 10^{-2}$	$9,9 * 10^{-9}$	8,0	$5 * 10^{-5}$

Tabulka 6.6: Příloha 6 - Tabulka naměřených hodnot - Astra 23,5°E - TV Óčko